Santé Canada Health Canada

Les appareils de radiologie industriels : radioprotection et sécurité

Code de sécurité 34

Canada

104-04801/

Les appareils de radiologie industriels : radioprotection et sécurité

Code de sécurité 34

Programme de la sécurité des milieux
Direction générale de la santé environnementale
et de la sécurité des consommateurs

03-SESC-333

Notre mission est d'aider les Canadiens et les Canadiennes à maintenir et à améliorer leur état de santé.

Santé Canada

Publication autorisée par le
ministre de la Santé

Also available in English under the title:
Radiation Protection and Safety for Industrial X-ray Equipment

On peut obtenir, sur demande, la présente publication sur disquette, en gros caractères, sur bande sonore ou en braille.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2003
Cat. H46-2/03-333F
ISBN 0-662-75382-8

Avant-propos

A cause des avantages qu'ils procurent à la société, on voit s'accroître l'utilisation des rayonnements ionisants en médecine, pour la recherche et dans l'industrie. Une application industrielle importante est la vérification de l'intégrité des structures ou des composants grâce à des images radiographiques à partir des diverses sources de rayonnement ionisant pour étudier. On appelle cette technique radiographie non destructive ou encore radiographie industrielle. La radiographie industrielle est une technique très établie qui, au-delà des avantages qu'elle apporte, comporte des risques d'exposition ou rayonnement. L'objectif de la radioprotection est de réduire le risque « au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre » (le principe ALARA : *as low as reasonably achievable*), tout en maximisant les avantages de la technique.

Les directives de protection contre les rayonnements ionisants existent depuis plus de 60 ans et elles ont été maintes fois révisées. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) est une organisation internationale de normalisation qui fait autorité. En 1990, elle a réaffirmé son système de protection contre le rayonnement qui vise la réduction des risques d'exposition qui découle de son utilisation et elle a recommandé des seuils plus bas pour les travailleurs sous rayonnement et le public[1]. Ce système de radioprotection a un double objectif : prévenir l'apparition des effets déterministes et réduire l'incidence des effets stochastiques. Dans le même esprit, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a révisé et actualisé ses documents d'orientation[2,3] afin qu'ils réfléchissent les recommandations de 1990 de la CIPR, et permettent de réduire les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants tout en conservant les avantages apportés par leur utilisation. Les publications de la CIPR et de l'AIEA ont autorité au plan international et de nombreux pays les utilisent comme base pour rédiger leurs règles nationales en matière de radioprotection et de sûreté.

Ce document fait partie d'une série de codes de sécurité publiée par Santé Canada, en vertu de la *Directive sur les « substances hasardeuses »* du Conseil du Trésor[4], pour assurer la radioprotection et de la sécurité sur les lieux de travail du gouvernement fédéral. Le présent code s'inspire des objectifs, notions et recommandations de la CIPR et de l'AIEA, il donne des conseils et des directives en matière de radioprotection et de sécurité relativement aux appareils à rayons X industriels. Il remplace le Code de sécurité n° 27 et vise les installations

fédérales. Ainsi, les installations assujetties à la Partie II du *Code canadien du travail, Santé et Sécurité au travail*,[5] devront se conformer aux exigences du présent code de sécurité.

Ce code de sécurité comporte quatre chapitres, *Introduction*, *Gestion de la radioprotection et de la sécurité*, *Exigences relatives aux appareils à rayons X industriels*, *Directives supplémentaires* ainsi que des sections : *Références*, *Glossaire* et *Annexes*. L'introduction donne des renseignements généraux sur les appareils à rayons X industriels, les dangers liés à l'exposition aux rayonnements et précise l'objectif et la portée du présent code de sécurité. Le chapitre *Gestion de la radioprotection et de la sécurité précise les responsabilités essentielles des intervenants dans la gestion de la radioprotection et de la sécurité*, relativement à l'utilisation d'appareils à rayons X industriels. Le chapitre *Exigences relatives aux appareils à rayons X industriels* précise les exigences réglementaires auxquelles doivent se conformer les appareils sur les sites de travail permanents ou temporaires et les évaluations en milieu de travail. Le chapitre *Directives supplémentaires* donne de l'information sur les utilisations non radiographiques des appareils à rayons X industriels, les contrôles individuels, les radiamètres, les procédures d'urgence, la revente et l'élimination. Le présent document contient aussi des sections de références, un glossaire et des annexes. Les informations et les directives contenues dans ce code s'adressent aux autorités réglementaires, aux fabricants d'appareils à rayons X industriels, à leurs propriétaires, à leurs opérateurs, aux organismes et aux radiographes qui offrent des services de radiographie industrielle, et aux clients qui les engagent.

On pourra adopter ce code de sécurité dans d'autres lieux de travail. Nous conseillons les installations régies par un gouvernement provincial ou territorial de consulter l'organisme gouvernemental approprié afin de recevoir des informations et des directives sur la radioprotection et la sécurité, puisque les lois et les exigences peuvent varier d'une province ou d'un territoire à l'autre. Le site Internet de Santé Canada contient les informations nécessaires pour contacter l'autorité provinciale ou territoriale pertinente[6].

Il existe de nombreuses utilisations de la radiographie industrielle, on ne peut donc pas prévoir toutes les situations de travail; c'est pourquoi il est plausible que surgissent des problèmes inattendus, qui ne sont pas prévus par les dispositions du présent code. Dans de telles éventualités, nous conseillons de consulter les autorités réglementaires appropriées.

Le présent code de sécurité a été ébauché, élaboré et finalisé par H.P. Maharaj, conformément aux critères de révision de publication de Santé Canada. On devra adresser toute question relative à l'interprétation des exigences ou des directives du présent document au : Chef, Unité non médicale de la division des rayons X, PL 6301A, 775, chemin Brookfield, Ottawa (Ontario) K1A 1C1 (télécopieur : 613 941-1734).

Pour alléger la lecture du présent code, nous avons utilisé le genre masculin pour désigner à la fois les hommes et les femmes.

Nous remercions les organismes suivants de leurs commentaires et de leurs suggestions qui ont permis d'améliorer et de clarifier le présent document :

Atlas Testing Laboratories and Services Ltd.
Atlantic NDT
Bowe et Landry NDT
British Columbia Centre for Disease Control
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Collège canadien de police
Société Action cancer Manitoba, Service de radioprotection
CanSpec Group Inc.
Conan Quantum Inspection and testing (Division of Stavely Services Canada Inc.)
Ministère de la Défense nationale
Santé Canada
Insight Inspections Inc.
Labcan (1989) Ltée
Ministère du Travail de l'Ontario, Service de radioprotection
Pratt et Whitney Canada Ltd.
Rolls-Royce Canada Ltd.
Gendarmerie royale du Canada

Table des matières

1.	**Introduction**	**9**
1.1	Contexte	9
1.2	Objectif	11
1.3	Portée	12
1.4	Définitions	12
2.	**Gestion de la radioprotection et de la sécurité – parties intéressées et responsabilités**	**13**
2.1	Autorité réglementaire	13
2.2	Le propriétaire d'appareils industriels à rayons X	14
2.2.1	Agent de radioprotection	14
2.3	Radiographe industriel accrédité	19
2.4	Fabricant d'appareils à rayons X industriels	22
2.4.1	Personnel d'entretien	23
2.5	Les clients qui engagent des organismes ou des personnes pour effectuer des travaux de radiographie industrielle	23
2.6	Personne non autorisée dans les zones de radiographie industrielle	24
3.	**Exigences relatives aux appareils à rayons X industriels**	**25**
3.1	Normes de conception des appareils à rayons X industriels	25
3.2	Enregistrement officiel des appareils à rayons X industriels utilisés dans des installations fédérales	28
3.3	Exigences relatives au site où l'on effectue de la radiographie industrielle	29
3.3.1	Installations permanentes	29
3.3.2	Site de travail temporaire	33
3.4	Evaluation sur place des installations	35
4.0	**Directives supplémentaires**	**37**
4.1	Les accélérateurs utilisés en radiographie industrielle	37
4.2	Radiographie industrielle sous l'eau	37

4.3	Utilisation non radiographique des appareils à rayons X industriels	38
4.4	Contrôles individuels	38
4.5	Radiamotre	40
4.5.1	Information relative aux systèmes à tube à rayons X et aux appareils de soudage par bombardement électronique	40
4.6	Réaction d'urgence lors d'exposition accidentelle au rayonnement	41
4.7	Revente d'appareils à rayons X	43
4.8	Élimination de l'appareil à rayons X	44

Références 45

Glossaire 48

Annexe I **Mise en garde contre les rayons X** 57

Annexe II **Limites recommandées de dose de rayonnement ionisant** 58

Tableau 1.	Limites de dose efficace	58
Tableau 2.	Limites de dose équivalente	59
Tableau 3.	Facteurs de pondération pour les organes ou les tissus	60
Tableau 4.	Facteur de pondération du rayonnement	61

1. Introduction

1.1 Contexte

Appareils émettant des rayonnements

On a conçu des appareils pour qu'ils émettent des rayons X, afin de vérifier à partir d'une image radiographique, l'intégrité de structures ou de composants, on appelle cette technique radiographie non destructive ou radiographie industrielle. On utilise trois types de rayonnement ionisant en radiographie industrielle : (1) les rayons gamma émis par des substances radioactives comme l'iridium 192 (192Ir), le césium 137 (137Cs) et le cobalt 60 (60Co), on parle dans ce cas de gammagraphie; (2) les neutrons produits dans des réacteurs ou par d'autres moyens (accélérateurs, isotopes radioactifs), on parle dans ce cas de radiographie par neutron ou de neutronographie; (3) les rayons X émis par des tubes à rayons X traditionnels.

Les machines de radiographie industrielles contenant un tube à rayons X peuvent produire dans l'air des doses d'environ deux grays (Gy), à une distance de un mètre[7]. Certains modèles sont portatifs ou mobiles et faciles à utiliser sur un site de travail temporaire. Certaines peuvent être actionnées par un seul employé, dans une vaste gamme de conditions : hangars d'aéronefs, oléoduc en construction ou en cours d'assemblage, usines de fabrication, plates-formes de forage en mer, ponts, sites de construction. Sur les sites temporaires de construction, les conditions de travail, et les manipulations fréquentes de ces sources intenses de rayonnement constituent un danger potentiel d'irradiation. Les travailleurs et les personnes à proximité de la zone de travail peuvent être exposés à un rayonnement intense qui pourrait se traduire par une irradiation accidentelle causant des blessures personnelles graves, voire la mort. Dans d'autres situations de travail, l'appareil muni d'un tube à rayons X peut être placé dans une enceinte blindée, équipée de dispositifs de sécurité, ce qui diminue grandement les risques dus aux rayonnements. La radiographie industrielle est une pratique établie, dont on tire des avantages, au prix des risques causés par les rayonnements.

Dans certaines installations industrielles, on trouve des systèmes conçus pour concentrer d'intenses faisceaux d'électrons à haute énergie pour fondre et souder des métaux dans le vide. Or, les

interactions électrons-métaux occasionnées par le soudage des métaux peuvent produire des rayons X. On appelle ces systèmes : machines à souder par bombardement électronique. Des électrons émis par des filaments chauffés sont accélérés à plusieurs centaines de kilovolts avant de frapper la cible métallique, habituellement placée dans le vide. Dans certains modèles, toutefois, le faisceau électronique traverse une série de trous qui sont chacun évacués alors que le matériel cible est placé à proximité du dernier orifice (à quelques centimètres). Généralement, le courant du faisceau se situe entre 20 et 200 mA, alors qu'il est accéléré par une tension entre 120 et 450 kV. On estime, par exemple, qu'un appareil dont la tension est de 150 kV et le courant de 50 mA émettra une dose d'électrons d'environ 0,5 Gy dans l'air, par seconde, à 50 cm; alors que le champ de rayonnement X diffusé à un mètre s'élèvera à environ un Gy par heure, pour un faisceau électronique primaire de 1 cm bombardant une cible de cuivre[8]. Le soudage exige des faisceaux fortement concentrés, ce qui non seulement réduit le nombre d'électrons qui frappent les métaux qui seront [illegible] mais réduit également la quantité de rayons X diffusés. Le soudage par bombardement électronique est une source d'exposition aux rayons X et aux électrons.

Dans ce document, nous assimilons dans le même vocable « appareil à rayons X industriel », les machines à rayons X utilisées en radiographie industrielle et les machines à souder par bombardement d'électrons. Toutes deux constituent un risque d'exposition aux rayons X et aux électrons. L'objectif de la radioprotection est de garder les risques au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA), tout en maximisant les avantages que l'on peut tirer.

Le danger du rayonnement

Les rayons X et les électrons font partie des rayonnements ionisants. En général, lorsque le rayonnement ionisant traverse la matière, son interaction est probabiliste; c'est-à-dire qu'il y a parfois une interaction, parfois non. Lorsqu'un rayonnement ionisant traverse un milieu formé de cellules d'un organisme vivant, l'interaction avec les cellules individuelles peut être directe ou indirecte. Au niveau cellulaire, l'interaction directe avec l'ADN ou d'autres composants peut causer des dommages. Lors d'une interaction indirecte, des ions réactifs sont formés par le bris de molécules d'eau présentes dans les cellules; ces ions peuvent interagir avec d'autres composants cellulaires, ce qui peut provoquer des dommages. L'exposition d'une cellule aux rayonnements ionisants peut se traduire par quelques éventualités :

(1) Les cellules endommagées peuvent être complètement réparées par les mécanismes naturels du corps. (2) Les cellules endommagées meurent quand elles essaient de se reproduire. Ainsi, le fonctionnement des tissus et des organes qui perdent un grand nombre de cellules peut être affecté. Pour chaque organe et tissu, on a défini une dose seuil au-dessus de laquelle l'atteinte fonctionnelle se manifestera comme une répercussion négative observable médicalement. Tout dépassement de la dose seuil augmentera les dommages. On appelle effets déterministes, les conséquences des doses élevées. (3) Les cellules endommagées survivent au rayonnement, mais sont en mauvais état et ne peuvent plus se diviser. Avec le temps, ces cellules peuvent être transformées par des agents externes – par exemple, des produits chimiques, l'exposition au rayonnement, le style de vie, etc. Après une période de latence de quelques années, elles peuvent produire une leucémie ou une tumeur solide (cancer). On appelle ces conséquences différées : effets stochastiques (ou aléatoires).

Les cellules germinales présentes dans les ovaires et les testicules sont fondamentales pour la reproduction. Leur modification par le rayonnement entraîne des effets héréditaires chez les descendants des personnes exposées au rayonnement. Les effets héréditaires causés par le rayonnement n'ont pas encore été décelés dans les populations humaines, toutefois, ils ont été observés chez les animaux. L'exposition de l'embryon ou du fœtus au rayonnement ionisant peut accroître le risque de leucémie chez le nourrisson et, s'il subit une exposition suffisamment forte à certains moments au début de la grossesse, il pourra souffrir d'arriération mentale et de malformations congénitales.

L'exposition au rayonnement ionisant peut nuire à la santé dans un horizon proche ou lointain. C'est pourquoi il convient de contrôler les risques associés au rayonnement produit par les appareils à rayons X industriels.

1.2 Objectif

Le présent code de sécurité a pour objectif de présenter des informations sur la radioprotection et la sécurité des personnes qui, dans des installations fixes ou des sites de travail temporaire, font fonctionner, utilisent et entretiennent les appareils à rayons X industriels ou se trouvent à proximité. Les propriétaires d'appareils industriels à rayons X, les organismes ou les personnes qui effectuent de la radiographie industrielle et les clients qui les engagent ont la responsabilité

de s'assurer que toutes les procédures de sécurité sont suivies et que le travail est effectué de façon à ce qu'il ne constitue pas un risque excessif pour quiconque.

Le présent document présente les exigences fondamentales et les directives qui assureront la radioprotection et la sécurité des radiographes industriels, des autres utilisateurs, du personnel d'entretien et du public. Il ne s'intéresse pas aux techniques de radiographie industrielle, aux procédés de soudage par bombardement d'électrons ou aux autres exigences (notamment en matière d'électricité ou d'explosifs).

1.3 Portée

Le présent code de sécurité s'applique spécifiquement aux appareils à rayons X industriels qui fonctionnent jusqu'à 6 MeV et qui sont utilisés pour la radiographie industrielle ou la fusion et le soudage des matériaux, ce qui englobe les appareils munis d'un tube à rayons X, les appareils de soudage par bombardement électronique et les accélérateurs à basse énergie (6 MV ou moins).

Il pourra avoir une application limitée pour les systèmes de balayage par rayons X, utilisés pour le contrôle des cargaisons. Ces systèmes sont caractérisés par : (i) de grandes enceintes ou des ensembles de modules formés de murs ou de panneaux blindés qui permettent l'entrée par les personnes, et qui peuvent être utilisés dans des sites de travail temporaires; (ii) des faisceaux intenses de rayons X produits par des générateurs à haut voltage (plus de 450 kV en crête) ou par des accélérateurs et (iii) différents dispositifs de sécurité qui limitent les expositions subies par les opérateurs et le public.

Ne sont pas couverts par le présent code de sûreté : (i) les coffrets à rayons X; (ii) les appareils à rayonnement contenant des isotopes radioactifs qui émettent des rayons gamma ou des neutrons, utilisés en gammagraphie ou en neutronographie industrielle; (iii) les systèmes conçus pour produire des neutrons, utilisés en radiographie industrielle; (iv) les installations qui utilisent des sources très intenses de rayons gamma ou d'électrons pour irradier des aliments, stériliser des substances, modifier les propriétés de matériaux – des utilisations qui nécessitent des doses de l'ordre du kilogray.

1.4 Définitions

On trouvera dans le glossaire, la définition de certains termes utilisés dans ce document.

2. Gestion de la radioprotection et de la sécurité – Parties intéressées et responsabilités

L'atténuation des risques dus au rayonnement émis lors de l'utilisation des appareils à rayons X industriels exige l'action collective de plusieurs intervenants : l'autorité réglementaire, les fabricants d'appareils, leurs propriétaires, leurs opérateurs, le personnel responsable de leur entretien, les organismes qui effectuent de la radiographie industrielle, les clients responsables de leur engagement et le public. Nous énumérons dans ce qui suit les responsabilités de chacun de ces intervenants.

2.1 Autorité réglementaire

Les fonctions primordiales de l'autorité réglementaire (Santé Canada) sont : créer des normes de donner des directives; vérifier, assurer et imposer la conformité avec les normes et les exigences sécuritaires; évaluer les appareils à rayons X industriels et les entreprises qui effectuent des radiographies.

Conformément à son mandat de protection de la santé, l'autorité réglementaire a les pouvoirs requis pour imposer la conformité avec le présent code de sécurité, de prendre ou d'autoriser des mesures qui faciliteront l'évaluation de la conformité aux exigences du présent code ou d'exiger d'une entreprise ou d'une installation de modifier ou corriger toute procédure, pratique, système ou composant pour en assurer la sûreté. L'autorité réglementaire peut émettre des directives interdisant l'utilisation d'appareils à rayons X industriels, en fonction des dangers et des risques causés par les déviations des procédures ou des violations des règles de sûreté, et elle peut annuler la confirmation d'enregistrement.

2.2 Le propriétaire d'appareils industriels à rayons X

On ne peut acquérir que les appareils conformes à la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*[9]. **Le propriétaire d'un appareil industriel à rayons X est en dernier ressort, responsable de la sécurité de son appareil en matière de rayonnement** et de s'assurer qu'il est utilisé conformément à tous les lois et règlements, notamment les autres normes de sécurité (relatives à l'électricité ou aux explosifs par exemple) auquel il est soumis, afin de rendre sécuritaire son utilisation dans le lieu prévu à cet effet. Cette responsabilité exige que le propriétaire de l'appareil industriel à rayons X ait pris un engagement sérieux en matière de sécurité, engagement démontré par la mise en place d'un programme de radioprotection.

Le propriétaire **devra** nommer un agent de radioprotection qui supervisera et mettra en place un programme de radioprotection pour chaque installation dans laquelle on effectue de la radiographie industrielle **et il devra** consacrer des ressources financières et physiques adéquates pour que le titulaire puisse s'acquitter de ses responsabilités et de ses tâches. En vertu de sa nomination, l'agent de radioprotection désigné pour une installation est habileté à entreprendre la supervision nécessaire des activités de radioprotection, à faire cesser les pratiques non sécuritaires, à imposer des directives de sécurité et à appliquer les interdictions prescrites par l'autorité réglementaire en vertu du présent code de sécurité. Un agent de radioprotection devra être un radiographe industriel détenant une certification en essai non destructif de niveau 1 ou supérieure, tel que décrit à l'alinéa 2.2.1.12 du présent code de sécurité.

Avant que l'on utilise un appareil à rayons X industriel, dans une installation soumise à la réglementation fédérale, son propriétaire devra vérifier que l'appareil est dûment enregistré, tel que précisé à l'article 3.2, et qu'il détient une confirmation valide de cet enregistrement. Toute installation fédérale dans laquelle on utilise un appareil à rayons X industriel sans une confirmation valide de son enregistrement viole la *Loi*[5].

2.2.1 Agent de radioprotection

Avant d'acquérir un appareil à rayons X industriel, l'agent de radioprotection devra avoir reçu une confirmation écrite de la part du fabricant de l'appareil ou de son agent commercial autorisé que le produit est conforme aux dispositions de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* (voir l'article 4.1 de ce code de sécurité). La

responsabilité de démontrer que l'équipement est conforme aux exigences réglementaires revient au manufacturier. On ne peut se porter acquéreur que des produits qui sont conformes aux exigences de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*. L'agent de radioprotection doit s'assurer que (i) l'appareil à rayons X industriel et les installations dans lesquelles il sera utilisé sont conformes à toutes les exigences en vigueur en matière de réglementation sur la radioprotection et la sécurité formulées dans le présent code, en plus de se conformer à toutes les normes applicables (p. ex. en matière d'électricité et d'explosifs); et (ii) que l'on effectue la radiographie industrielle en suivant les procédures de sécurité normalement utilisées. On trouvera à l'article 2.4 de ce code de sécurité, les directives permettant de s'assurer que les équipements sont conformes au règlement dans le cas où l'on découvrirait une non-conformité après que l'équipement ait quitté les locaux de son fabricant.

L'agent de radioprotection doit s'acquitter des fonctions suivantes :

1. Enregistrer tous les appareils à rayons X industriels auprès de l'autorité réglementaire, obtenir une confirmation valide de cet enregistrement et l'afficher de façon évidente dans l'installation. Lorsque l'appareil est placé dans une installation permanente ou conservé dans une salle spécialisée, fermée à clé, on pourra simplement afficher cette confirmation d'enregistrement sur le mur près de la porte principale menant à cette structure. Lorsqu'une installation possède des appareils à rayons X industriels utilisés à l'extérieur, on demandera au radiographe industriel qui les utilisera de se munir de la documentation appropriée qui attestera qu'ils sont bien enregistrés. Il est interdit d'utiliser des appareils non enregistrés.
2. Produire ou étudier toutes les procédures relatives à l'ALARA et d'intervention en cas d'accident radiologique ou une surexposition, et de les déposer aux fins d'examen par l'autorité réglementaire.
3. S'assurer de la disponibilité de tous les appareils ou matériaux utilisés pour la protection ou la sécurité et qui exigent les procédures d'ALARA, ou d'intervention en cas d'accident radiologique ou de surexposition.
4. S'assurer que tous les appareils à rayons X industriels utilisés dans l'installation soient soumis à un programme d'entretien régulier.

5. Avertir par écrit les autorités réglementaires de la non-conformité d'un appareil à rayons X industriel aux exigences de l'article 3.1 de ce code de sécurité, lorsque cette non-conformité est constatée après l'installation de l'équipement ou lors de son utilisation. Cet avis écrit devra donner les détails de cette non-conformité.

6. S'assurer que l'autorité réglementaire examine les plans de toute nouvelle installation permanente ou de modifications à une installation permanente existante, avant le début des travaux de construction ou de modification.

7. Communiquer avec le personnel responsable de la construction de nouvelles installations permanentes ou de la modification d'installations existantes et le consulter, de façon à s'assurer que les installations seront conformes aux exigences réglementaires et qu'on y incorporera les recommandations de l'autorité réglementaire.

8. Organiser les évaluations sur place associées aux tests qui précèdent la mise en œuvre des installations permanentes.

9. Identifier les zones contrôlées et les zones surveillées de l'installation.

10. Se procurer un radiamètre étalonné et fonctionnel pour chaque installation où l'on utilise un appareil à rayons X industriel. Ces radiamètres devront avoir été étalonnés par un laboratoire national d'étalonnage du rayonnement ionisant (p. ex. le Conseil national de recherches du Canada à Ottawa, le National Institute of standards and technology aux États-Unis) ou encore un laboratoire dont la compétence en matière d'étalonnage aura été certifiée par un laboratoire national. On devra effectuer cet étalonnage à plusieurs énergies, afin de couvrir toute la gamme des énergies de photons produits par l'appareil à rayons X qui sera utilisé. On devra procéder à cet étalonnage annuellement ou chaque fois que le radiamètre aura été entretenu ou réparé. On devra conserver à l'installation, le dossier des résultats de ces étalonnages des radiamètres. Chaque installation devra posséder un radiamètre de réserve, fonctionnel et étalonné tel que décrit dans ce paragraphe.

11. Examiner au besoin et modifier les procédures opérationnelles relatives à la protection et à la sûreté afin de s'assurer que l'exposition réellement subie par les radiographes industriels est

aussi basse qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (ALARA) et que l'on excède pas les limites de dose pour le public (voir Annexe II, Tableaux 1 et 2).

12. S'assurer que toute personne qui utilise un appareil à rayons X industriel pour faire de la radiographie est un radiographe industriel détenant la certification en essai non destructif de niveau 1 ou supérieure conformément aux exigences de l'Office des normes générales du Canada[10]. Les personnes qui utilisent un appareil à rayons X industriel pour des travaux de radiographie de police ou de sécurité doivent également détenir une certification de niveau 1 ou supérieure conformément aux exigences de l'Office des normes générales du Canada[11].
13. S'assurer que les personnes qui utilisent un appareil de soudage par bombardement électronique ont suivi une formation en radioprotection, tel que précisé à l'article 4.3 du présent code de sécurité.
14. S'assurer que les radiographes industriels et autres utilisateurs ont reçu une formation pratique sur l'utilisation correcte des appareils à rayons X et des radiamètres présents dans l'installation et qu'ils ont également reçu une formation sur les procédures opérationnelles d'atténuation du rayonnement au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (ALARA) et les procédures de sûreté en vigueur dans l'installation.
15. Effectuer un examen trimestriel des entrées du registre, signées et datées par les radiographes industriels où sont consignées les vérifications de sécurité périodiques effectuées sur les appareils à rayons X industriels, leurs composantes de sécurité et les accessoires de sécurité qui font partie de l'installation permanente, tel que précisé par le paragraphe 3.3.1 de ce code de sécurité.
16. Prendre des décisions relativement à la réaffectation des fonctions des radiographes industrielles dont la grossesse est déclarée ou confirmée, afin que l'on ne dépasse pas les limites de dose des travailleuses enceintes, pendant toute la durée de la grossesse, et prendre des décisions relatives aux limites spéciales d'exposition des employées féminines dans la zone de travail. (Il est conseillé de consulter les autorités réglementaires.)
17. Organiser, au besoin, la formation et des séances d'information pour les radiographes industriels, les autres utilisateurs et le

personnel associé, sur des questions et procédures de radioprotection ainsi que conserver adéquatement le matériel pédagogique et une liste du personnel ayant reçu une formation.

18. Superviser les procédures de sécurité relatives aux travaux de radiographie industrielle dans un site temporaire, ou déléguer ces responsabilités à un agent de radioprotection ou son équivalent, tel que précisé à l'alinéa 3.3.2.3 du présent code de sécurité.

19. S'assurer que les personnes en formation en vue d'une certification en radiographie industrielle sont supervisées par un radiographe industriel possédant la certification appropriée et qu'elles suivent les mêmes procédures de protection, de sécurité et de surveillance des doses imposées aux radiographes industriels.

20. Élaborer et maintenir un système de suivi du personnel comprenant des examens périodiques des données de monitorage des doses reçues, des enquêtes sur les incohérences, l'entrée en vigueur d'actions correctives, en temps opportun, et la conservation de tous les documents et données afférents.

21. S'assurer qu'il y a un nombre suffisant de dosimètres passifs personnels pour les radiographes industriels, les autres utilisateurs et le personnel associé. S'assurer également que les dosimètres passifs personnels attribués à différentes personnes ne sont pas utilisés par d'autres.

22. Avant d'autoriser un travail de radiographie industrielle, obtenir les données de dosimétrie personnelles des radiographes industriels qui travaillent pour plusieurs employeurs et vérifier que leur limite de dose professionnelle annuelle n'a pas été dépassée.

23. Enquêter sur les accidents radiologiques et les expositions anormales ou présumées et soumettre le rapport approprié à l'autorité réglementaire, dans un délai de cinq jours après l'incident.

24. S'assurer que les personnes exposées accidentellement au rayonnement ionisant reçoivent les soins médicaux appropriés.

25. S'assurer que le fabricant de l'appareil à rayons X industriel a formé et certifié le personnel chargé de son entretien et que celui-ci a lu et compris toutes les procédures de radioprotection en vigueur dans l'installation avant qu'il puisse procéder à l'entretien de l'appareil.

26. S'assurer que l'on a informé les personnes travaillant à proximité d'un endroit où on effectue de la radiographie industrielle des activités qui sont effectuées, des dangers potentiels et risques de

radiation, des règlements en vigueur, des procédures de sécurité qui seront suivies, de la durée des travaux et de la façon de contacter l'agent de radioprotection avec lequel ils pourront s'entretenir des questions connexes au rayonnement ionisant et de leurs inquiétudes. (On considère que ces activités encouragent une culture positive de la sécurité sur les lieux de travail.)

27. Engager un examen des procédures de sécurité et s'assurer que l'installation se conforme aux exigences de ce code de sécurité, pendant la période au cours de laquelle l'installation utilise, possède ou entrepose l'appareil à rayons X industriel.

28. S'assurer que l'appareil à rayons X industriel est retourné à son fabricant pour son élimination ou, si celui-ci n'était plus en affaire, soit expédié à une entreprise avec laquelle le propriétaire de l'équipement aura signé un contrat visant la réalisation des activités précisées à l'article 4.8 du présent code de sécurité et qui vise son évacuation sécuritaire.

2.3 Radiographe industriel accrédité

Pour être accrédité, un radiographe industriel doit satisfaire aux exigences énoncées à l'alinéa 2.2.1.12 du présent code de sécurité. Cette personne devra effectuer le travail radiographique demandé, conformément aux instructions reçues et aux procédures d'opération et de sécurité, afin d'assurer sa protection et celle des autres personnes. Il est donc essentiel qu'il suive à la lettre les instructions, procédures et précautions en matière de sécurité, contenues dans le manuel d'utilisation de l'appareil à rayons X industriel qu'elle utilisera. Cette personne devra adopter une attitude sécuritaire générale lorsqu'elle effectuera de la radiographie industrielle et, dans ce cadre, elle prêtera attention au verrouillage de sécurité, aux alarmes, aux voyants et aux indications. Un radiographe industriel accrédité devra :

1. porter sur lui une pièce d'identité appropriée et son accréditation comme radiographe industriel lorsqu'il effectue de la radiographie;

2. donner à l'agent de radioprotection de l'installation des preuves suffisantes de son identité, de son accréditation et de sa formation;

3. fournir à l'agent de radioprotection de l'installation son dossier d'exposition au rayonnement, notamment s'il a été engagé, ou l'est encore, en vertu de contrats de service avec plusieurs employeurs au cours de la même période;
4. s'assurer qu'il n'a pas dépassé la limite annuelle de dose professionnelle (20 mSv, voir le Tableau 1 de l'Annexe II de ce code de sécurité), avant d'entreprendre un travail de radiographie industrielle à cette installation;
5. recevoir les instructions en matière de sécurité et la formation appropriée pour l'appareil à rayons X industriel et les radiamètres qui seront utilisés à l'installation permanente ou le site de travail temporaire, il devra produire à l'agent de radioprotection de l'installation une attestation qu'il a bien suivi cette formation;
6. s'assurer que la quantité de rayonnement qu'il reçoit ou que d'autres reçoivent soit aussi basse qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre et utiliser un des radiamètres étalonnés de l'installation pour vérifier que le niveau de rayonnement est en-deçà des limites de dose qui ne constituent pas un risque exagéré pour une personne;
7. porter un dosimètre personnel (dosimètre passif) fourni par un service de dosimétrie[12,13] approuvé par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) conformément à ses règlements[14], et (ii) un dosimètre électronique muni d'une alarme (dosimètre actif) lequel émettra un signal audible si le débit de dose équivalent atteint ou dépasse 5 mSv/h ou si la dose équivalente totale atteint ou dépasse 2 mSv;
8. s'abstenir de porter le dosimètre passif d'une autre personne;
9. effectuer, avant d'entreprendre un travail de radiographie industrielle, une vérification préliminaire de tous les dispositifs de sécurité (dispositifs de verrouillage, voyants, minuteries, blindages, radiamètres, dosimètres actifs, etc.) pour s'assurer de leur fonctionnement normal et résoudre tout problème découvert; maintenir un journal approprié signé et daté de ces vérifications;
10. vérifier, avant de commencer à produire des rayons X, si personne se trouve à l'intérieur de l'installation permanente ou de la zone contrôlée;
11. suivre toutes les règles de protection et de sécurité, notamment les procédures établies pour le travail en cours dans l'installation;

12. signaler à l'agent de protection de l'installation toute exposition anormale au rayonnement, qu'elle soit avérée ou présumée subie par toute personne et conserver un dossier de ces signalements;

13. superviser, s'il est mandaté par le propriétaire de l'appareil à rayons X industriel, en collaboration avec l'agent de radioprotection de l'installation, toute personne en vue d'obtenir son accréditation comme radiographe industriel;

14. être vigilant et, à chaque mois ou à un intervalle plus rapproché, vérifier (i) si le tube à rayons X et les câbles ne montrent pas de signe visible de bris ou d'usure et (ii) si les notices et les avertissements et les facteurs d'exposition sur la console de commande et le boîtier de la source de rayonnement sont bien lisibles;

15. s'abstenir d'utiliser tout appareil à rayons X industriel, radiamètres, dosimètres ou blindages qui sont défectueux;

16. au besoin, lorsqu'un travail de radiographie industrielle doit être effectué chez un client à l'extérieur de l'installation pour laquelle le radiographe industriel détient une accréditation, donner au client une séance d'information tel que le prescrit l'article 2.5 du présent code.

On devra porter une attention particulière aux radiographes industrielles en âge de procréer. Les radiographes industrielles de sexe féminin, qu'elles soient accréditées ou en formation, et dont la grossesse est confirmée ou déclarée devront discuter avec l'agent de radioprotection de l'installation des doses professionnelles potentielles et des risques dus au rayonnement, pendant le reste de leur grossesse. (Toute information privée ou délicate relativement à la grossesse de la radiographe qui pourra être divulguée au cours de la discussion devra être traitée de façon confidentielle.) Si la radiographe industrielle enceinte, une fois qu'elle aura été informée des doses professionnelles potentielles et des dangers du rayonnement associés à son travail, choisit de continuer de faire de la radiographie, on mettra en place une surveillance personnelle mensuelle et l'agent de radioprotection de l'installation devra étudier les résultats de la mesure dosimétrique passive le plus rapidement possible, afin de s'assurer que l'on ait pas dépassé la limite de dose d'une travailleuse sous rayonnement enceinte (voir Tableau 1 de l'Annexe II du présent code de sécurité). L'agent de radioprotection de l'installation devra produire et conserver un dossier bien documenté de ces activités. On ne devra réaffecter aucune radiographe industrielle enceinte à d'autres fonctions du simple fait que sa grossesse est connue.

2.4 Fabricant d'appareils à rayons X industriels

Les fabricants d'appareils à rayons X industriels devront reconnaître que les appareils qu'ils produisent sont soumis à une réglementation fédérale au Canada (voir l'article 3.1 présent code de sécurité). Les fabricants doivent s'assurer que leur produit est conforme à la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*[9] avant de les importer, de les livrer ou de les vendre au Canada. Pour faciliter la vérification de la conformité de leur produit, les manufacturiers d'appareils à rayons X industriels ou leurs agents commerciaux devront :

(i) avertir par écrit l'autorité réglementaire, Santé Canada, de leur intention de commercialiser un produit au Canada;

(ii) inclure dans cet avis écrit : une copie des documents publicitaires, des spécifications techniques, notamment les instructions relatives à l'installation, le fonctionnement, la sécurité, l'entretien, et l'élimination du produit en cause, si ces documents n'avaient pas déjà été transmis à l'autorité réglementaire;

(iii) fournir toute preuve à l'effet que le produit en cause est conforme aux exigences précisées à l'article 3.1 du présent code de sécurité.

Par la suite l'autorité réglementaire pourra évaluer le produit et donner une réponse à son manufacturier. (Entre quatre et six semaines seront nécessaires pour l'évaluation et la réponse une fois que toute la documentation nécessaire et les pièces justificatives auront ont été reçues du manufacturier.) Il est illégal d'importer, louer ou de vendre des appareils à rayons X industriels qui ne sont pas conformes à la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*. Toute violation de cette *Loi* constitue un acte criminel.

Si l'on décèle une non-conformité après l'achat ou l'installation d'un appareil à rayons X industriel, son manufacturier ou son importateur devra apporter les changements nécessaires pour le rendre conforme, dans un délai de 30 jours après en avoir été avisé **verbalement ou par écrit** par son propriétaire ou l'autorité réglementaire. Dans ce cas l'autorité réglementaire ordonnera au propriétaire de cesser l'utilisation de l'appareil tant qu'elle ne sera pas convaincue que les problèmes de non-conformité ont été résolus à sa satisfaction.

Le manufacturier est l'unique responsable de la formation sur l'entretien, la sécurité et la radioprotection qui s'appliquent à

l'appareil à rayons X industriel et de l'émission des autorisations écrites appropriées aux personnes qui ont été formées pour l'entretien de l'appareil.

2.4.1 Personnel d'entretien

Le personnel chargé de l'entretien des appareils à rayons X industriels dans une installation ou un autre lieu de travail devra :

1. Fournir à l'agent de radioprotection de l'installation ou au gestionnaire du lieu de travail, selon le cas, la preuve qu'ils ont reçu la formation nécessaire pour effectuer l'entretien de l'appareil à rayons X industriel concerné.
2. Fournir à l'agent de radioprotection de l'installation ou au gestionnaire du lieu de travail, selon le cas, la preuve écrite qu'ils ont été autorisés par le fabricant de l'appareil à rayons X industriel à entretenir cet appareil.
3. Suivre toutes les règles de sécurité, notamment celles relatives au niveau aussi bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA) et les procédures d'intervention en cas d'accidents établies par l'installation.
4. Porter les dispositifs de surveillance du rayonnement reçus, tel que précisé au paragraphe 2.3.7 du présent code de sécurité.
5. Reconnaître, qu'en vertu du présent code de sécurité, les limites de dose de travailleurs sous rayonnement s'appliquent dans leur cas.
6. S'assurer que la limite de dose professionnelle annuelle de 20 mSv n'est pas dépassée (Tableau 1 de l'Annexe II du présent code de sécurité).
7. Déclarer toute condition non sécuritaire qui pourrait survenir pendant le fonctionnement de l'appareil à rayons X industriel dans un rapport écrit, signé et daté qui devra être déposé à l'agent de radioprotection de l'installation ou au gestionnaire du lieu de travail selon le cas.

2.5 Les clients qui engagent des organismes ou des personnes pour effectuer des travaux de radiographie industrielle

Avant que le travail de radiographie puisse débuter dans les installations d'un client, celui-ci devra être informé par le radiographe

industriel certifié, engagé pour réaliser ce travail ou autorisé à le faire de la nature de la radiographie industrielle, des risques et dangers potentiels associés, des procédures de sécurité qui devront être suivies pour réaliser le travail, des règlements pertinents et des preuves qu'il est personnellement accrédité et formé en radiographie industrielle.

Le client devra reconnaître que les conditions du contrat ne doivent pas empêcher l'organisme ou les personnes d'effectuer le travail radiographique en sécurité; en d'autres termes, en radiographie industrielle les exigences réglementaires et sécuritaires sont prioritaires. Le client doit s'assurer que les activités de radiographie industrielle sont effectuées de façon sécuritaire, afin de minimiser le risque d'exposition au rayonnement ionisant encouru par les radiographes et les autres personnes sur les lieux de travail. Ainsi, le client devra désigner un agent de sécurité qui veillera à ce que l'on suive les procédures de sécurité dans les installations. Pour réduire la probabilité d'accidents dus au rayonnement ou d'exposition anormalement élevée, dans les cas où l'on doit effectuer différents travaux de radiographie industrielle sur les lieux, on devra émettre un permis de travail, et le client devra superviser les travaux. En conséquence, le client, de concert avec le fournisseur de service radiographique, devra préparer et conserver un document (p. ex. une liste de contrôle) où apparaîtront les signatures pertinentes et les dates permettant de démontrer que l'on a informé le client des questions de sécurité associées au travail et qu'il est satisfait que les activités de sécurité pertinentes ont été effectuées sur le site du travail. Un exemplaire de tous les documents sera conservé dans des dossiers dans les installations du radiographe industriel et dans les locaux du client où l'on a effectué de la radiographie industrielle.

2.6 Personne non autorisée dans les zones de radiographie industrielle

Les personnes non autorisées, les autres travailleurs et membres du personnel d'une entreprise ou d'une installation et les membres du public qui se trouvent dans des zones où on effectue la radiographie industrielle doivent se conformer à tous les avertissements, instructions et avis relatifs à la sécurité affichés dans ces zones. Pour leur propre protection et sécurité, ils doivent faire preuve de bon sens, penser et agir raisonnablement. On considère que toute personne qui aura violé ces normes de conduite et aura subi des dommages physiques aura agi volontairement et de façon négligente.

3. Exigences relatives aux appareils à rayons X industriels

Cette partie du code de sécurité décrit les exigences réglementaires qui s'appliquent aux appareils à rayons X industriels, notamment au chapitre de leur conception, de l'évaluation de leur conformité, de la répression de la non-conformité, de leur certification, et des pratiques sur les lieux où on effectue de la radiographie industrielle.

3.1 Normes de conception des appareils à rayons X industriels

Au Canada, les appareils à rayons X sont soumis à une législation fédérale : la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*[9] et son Règlement. La *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* donne au gouvernement l'autorité d'émettre des règlements qui s'appliquent à des classes particulières d'appareils à rayons X. Dans le cas où une classe d'appareils à rayons X n'était pas couverte par le *Règlement*, la sécurité des travailleurs et du public est garantie par les dispositions générales de la loi relatives aux interdictions, aux tromperies et aux avis. C'est le cas pour les appareils à rayons X industriels. Ainsi, l'importation, la location ou la vente d'appareils à rayons X industriels qui ne sont pas conformes aux dispositions de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* est en contravention avec les lois canadiennes. La responsabilité de s'assurer que les appareils à rayons X vendus au Canada sont conformes avec la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* revient au manufacturier et à l'importateur. Toute violation de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* est un acte criminel.

Les appareils à rayons X industriels doivent aussi être conformes aux dispositions de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*, au moment de leur revente. Le vendeur doit veiller à ce que l'appareil soit conforme à la *Loi*, il doit assumer les coûts requis pour assurer la conformité et il doit aviser l'acheteur de ses obligations en matière de sécurité qu'il a contractées par l'achat de l'appareil. L'article 4.7 du présent code de sécurité contient des directives supplémentaires à ce sujet.

Pour satisfaire aux dispositions générales de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*, un appareil à rayons X industriel doit se conformer aux normes minimales suivantes :

(1) un poste de commande doté des dispositifs suivants :

(i) un interrupteur;

(ii) un voyant lumineux indiquant que l'appareil est sous tension;

(iii) un indicateur lumineux rouge de sécurité indiquant que la source de rayons X est activée;

(iv) des indicateurs de la tension électrique et du courant appliqués à la source du rayonnement ionisant;

(v) un dispositif de verrouillage qui exige l'insertion d'une clé pour que le rayonnement ionisant soit émis et qui arrête automatiquement la production du rayonnement ionisant si on retire cette clé;

(vi) un dispositif qui commande la durée de l'émission du rayonnement ionisant;

(vii) un commutateur qui doit être activé par l'opérateur pour que l'appareil émette un rayonnement ionisant;

(viii) un interrupteur d'urgence qui, lorsqu'il est actionné, désactive la source de rayonnement ionisant;

(ix) les bornes nécessaires pour le branchement de systèmes de verrouillage et de dispositifs d'alerte visibles ou audibles, placés à distance, lorsque l'appareil produit un rayonnement ionisant;

(x) près de la serrure de l'appareil, une mise en garde qui (a) indique que l'appareil lorsqu'il est activé produit des rayonnements ionisants dangereux et (b) en interdit l'usage non autorisé;

(xi) un panneau de mise en garde contre les rayonnements où apparaît le logo montrant un tube à rayons X semblable à celui illustré à l'Annexe I du présent code de sécurité;

(xii) l'étiquette d'identification de l'appareil à rayons X industriel laquelle précise le nom de son fabricant, son adresse d'affaire, le numéro du modèle, le numéro de série, la date de fabrication et le pays où il a été fabriqué.

(2) Un boîtier blindé qui contient la source de rayonnement ionisant et qui est équipé d'un dispositif simple d'alignement par laser, alimenté par une pile ou d'un système analogue permettant l'ajustement de l'appareil avant la radiographie.

(3) Des étiquettes apposées sur la surface externe du montage blindé qui :

(i) montrent les bornes électriques ou autres dispositifs qui permettent l'activation d'alarmes audibles ou visibles placées à la périphérie des zones contrôlées, lorsque l'on produit un rayonnement ionisant dans un site temporaire;

(ii) montrent le symbole du tube à rayons X, illustré à l'Annexe I du présent code de sécurité;

(iii) donnent le nom du fabricant de l'appareil à rayons X industriel, son adresse, le numéro de modèle de l'appareil, son numéro de série, sa date de fabrication et le pays où il a été fabriqué.

(4) Toutes les marques, étiquettes et tous les symboles qui doivent apparaître sur le poste de contrôle et le boîtier blindé doivent être apposés solidement et être facilement visibles.

(5) Tous les voyants, les commandes, les jauges et autres indicateurs sur le poste de commande et sur le boîtier blindé doivent être facilement lisibles et lorsqu'ils sont activés se conformer au code d'illumination et couleur suivant :

État ou condition	*Couleur*
Faisceau activé	rouge
Urgence	rouge
Attention (en attente)	ambre ou jaune
Faisceau inactif (sans danger)	vert
Information	bleu

(6) Les instructions fournies par le fabricant relativement à l'installation, le fonctionnement, la sécurité, l'entretien et l'élimination de l'appareil, si elles sont bien suivies, doivent permettre au propriétaire ou à l'opérateur d'exploiter l'appareil, à l'intérieur des spécifications relatives à son fonctionnement et son rendement, et, lorsqu'il n'est plus utile, de l'éliminer d'une façon sécuritaire et respectueuse de l'environnement.

(7) Les appareils à rayons X industriels portables et mobiles devront, en plus des exigences énumérées ci-dessus, être conçus et équipés :

(i) d'accessoires (c.-à-d. des câbles suffisamment longs, des mécanismes radios ou autres) permettant d'activer l'émission du rayonnement, à partir d'un point situé à

l'extérieur de la zone contrôlée qui aura été établie autour d'un site temporaire de travail, conformément au paragraphe 3.3.2 du présent code de sécurité;

(ii) d'un support adéquat pour le boîtier blindé qui préviendra son basculement, son déplacement, ou les vibrations de l'appareil pendant son fonctionnement;

(iii) d'un système automatique alertant de la présence d'un rayonnement ionisant, comprenant un signal lumineux, une sirène ou un autre dispositif remplissant les mêmes fonctions.

Le texte de toutes les mises en garde et étiquettes relatives au danger de rayonnement devra être en noir sur un fond jaune et rédigé en français et en anglais.

3.2 Enregistrement officiel des appareils à rayons X industriels utilisés dans des installations fédérales

Toute activité qui requiert l'utilisation d'un appareil à rayons X industriel assemblé ou prêt à être utilisé comporte des risques. Pour limiter l'ampleur de ces risques, on doit mettre en place un système de contrôle comportant l'évaluation et l'étude du fonctionnement des appareils à rayons X industriels. Cette exigence est formulée au paragraphe 10.26 de la partie X du *Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail*, règlement associé au *Code canadien du travail*[5]. En substance, tous les ministères fédéraux et tous les organismes régis par le gouvernement fédéral doivent enregistrer leurs appareils à rayons X, auprès de l'autorité réglementaire, nommément Santé Canada.

Cet enregistrement comporte :

(i) le dépôt de (a) un formulaire complété comportant divers renseignements (notamment l'installation, l'appareil à rayons X, le personnel ayant reçu une formation, l'entreprise fournissant les services d'entretien, les services de dosimétrie personnels, les radiamètres) et (b) les documents en appui où sont décrites les procédures d'urgence, de sécurité et d'évacuation du matériel;

(ii) l'évaluation des documents déposés, par l'autorité réglementaire;

(iii) la délivrance par l'autorité réglementaire, d'une confirmation de l'enregistrement dont la validité s'étend sur trois années.

Si une installation fédérale ayant reçu une confirmation d'enregistrement conformément au point (iii) de l'article 3.2 du présent code effectue une modification importante à ses procédures de radiographie industrielle, aux procédures de sécurité, aux installations permanentes ou aux appareils à rayons X industriels, elle devra déposer un rapport supplémentaire décrivant clairement les changements effectués, à l'autorité réglementaire, Santé Canada, aux fins d'examen, dans un délai de 14 jours après l'entrée en vigueur des changements. Dans ce contexte, on devra faire rapport si un appareil à rayons X industriel a été revendu, retiré du service ou transféré à un autre utilisateur ou une autre installation. Tout défaut de production de ce rapport supplémentaire entraînera l'annulation automatique de la confirmation d'enregistrement.

On devra renouveler l'enregistrement à tous les trois ans, à moins d'indication contraire. Une installation qui utilise un appareil à rayons X industriel sans détenir une confirmation valide de son enregistrement est en contravention du *Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail*[5].

3.3 Exigences relatives au site où l'on effectue de la radiographie industrielle

On peut effectuer de la radiographie dans un site doté d'une installation permanente ou encore dans un site de travail temporaire. Ces sites se distinguent par les conditions de travail, ainsi les stratégies de réduction des risques doivent considérer à la fois l'appareil à rayons X industriel et les facteurs humains.

3.3.1 Installations permanentes

Dans la plupart des cas, on effectue la radiographie industrielle dans une enceinte blindée. Il n'est donc pas nécessaire de créer une zone contrôlée à l'extérieur d'une telle enceinte si celle-ci a été correctement conçue et construite à partir de principes techniques solides et si on l'utilise à l'intérieur des limites de sa conception. Toutefois, bien que ces conditions n'exigent pas la création d'une zone contrôlée, l'agent de radioprotection devra toutefois contrôler les conditions d'exposition professionnelle au rayonnement. Dans ce cas, il pourrait être nécessaire de délimiter une « zone supervisée »

pour laquelle on devra réaliser les actions suivantes : (i) délimiter l'aire supervisée de façon convenable; (ii) apposer des affiches adéquates et en nombre suffisant aux endroits appropriés de la zone supervisée afin de signaler la présence d'une source de rayonnement et des risques qui y sont associés; (iii) effectuer périodiquement une analyse pour établir le besoin de mesures de protection ou de sécurité ou s'il est nécessaire de modifier les limites de la zone surveillée.

Dès l'étape de la planification d'une installation permanente, on devrait adopter les principes de la gestion du cycle de vie. Parmi les facteurs à considérer, on trouve : la recherche de l'emplacement, l'emplacement lui-même, la construction, l'entrée en activité, l'exploitation, l'entretien et le démantèlement, en fonction des besoins présents et dans un avenir prévisible. On devrait produire des dessins de l'enceinte et de ses environs; on devrait déterminer la position des issues; on devrait, en outre, préciser les dimensions de l'enceinte et des zones prévues pour le personnel. On devrait également considérer les questions de chauffage, d'éclairage, de ventilation et de raccordement au service. Étant donné leur importance en matière de radioprotection, on devrait apporter une attention considérable au blindage, au système de verrouillage, aux indicateurs lumineux, aux dispositifs activés en cas d'urgence et au système de commande du rayonnement. Normalement, on devra installer un blindage pour protéger le personnel à l'extérieur de l'enceinte, des rayonnements produits par les sources situées à l'intérieur. On pourra estimer l'épaisseur du blindage requis, à l'aide des méthodes traditionnelles[15]. Si on utilise les méthodes du *National Council on Radiation Protection and Measurements* des États-Unis[15], on devra veiller à utiliser les limites de dose appropriées pour estimer le blindage requis. En fonction de la nature du travail ou du lieu de l'installation, on devra pratiquer des ouvertures dans le blindage afin, notamment de placer ou de déplacer des objets lourds dans le faisceau primaire à l'aide d'un pont roulant, d'un robot, ou d'un convoyeur; permettre au personnel d'accéder à l'enceinte; faciliter le passage de tuyaux d'eau ou d'électricité ainsi que des câbles pour la commande des rayons X ou du système d'imagerie; installer l'éclairage; et permettre le passage de la tuyauterie requise pour le chauffage et la ventilation. Un blindage inadéquat à ces ouvertures pourrait se traduire par des niveaux inacceptables de rayonnement résiduel lesquels soumettraient le personnel ou le public à un risque accru d'exposition. Il existe des directives sur les manières de blinder efficacement ces ouvertures[15]. Éventuellement, les exigences du travail pourront nécessiter le remplacement de la source de rayonnement par une autre plus

pénétrante (c.-à-d. dont les rayons X sont plus énergétiques), ce qui pourra entraîner des changements au blindage de l'installation ou une réévaluation des barrières primaires et secondaires ou encore de l'usage des zones avoisinantes.

Pour toutes ces raisons, il est essentiel de consulter (ou d'engager) un conseiller en sécurité radiologique pour discuter des questions relatives à la radioprotection. Cet expert pourra être un consultant compétent en radioprotection et sécurité radiologique qui aura à son actif plusieurs années d'expérience dans la conception d'installations blindées contre le rayonnement ionisant. Toutefois l'entreprise ou l'organisme propriétaire de l'installation permanente demeure responsable de sa conformité avec les règles et normes pertinentes.

Une installation permanente devra être conforme aux exigences minimales suivantes :

1. Le blindage devra être suffisamment épais pour protéger les personnes situées à proximité de l'installation.
2. On devra fixer sur toutes les portes, panneaux ou ouvertures qui permettent d'entrer ou d'introduire une partie du corps à l'intérieur de l'installation permanente, des affiches de mise en garde semblables à celles montrées à l'Annexe I du présent code de sécurité.
3. Le poste de commande du rayonnement devra (i) être convenablement conçu et placé à l'extérieur de l'installation permanente, (ii) comporter le pupitre de commande de la source de rayonnement ionisant, (iii) permettre à l'opérateur d'observer directement ou par un moyen électronique l'intérieur de l'installation permanente pendant la radiographie et (iv) permettre de voir l'image radiographique en temps réel et de l'évaluer.
4. Deux systèmes de verrouillage indépendants seront fixés sur la porte principale la plus proche du poste de commande et qui permet d'entrer complètement dans l'installation permanente; ils devront être conçus pour interrompre immédiatement l'émission de rayons X s'ils sont activés et exiger que l'opérateur réamorce manuellement la production de rayons X, à partir du poste de commande.
5. Un dispositif de verrouillage déclenchant un relais de sécurité qui interrompt l'alimentation électrique du générateur de rayons

X devra être fixé sur toutes les autres portes qui permettent d'entrer dans l'installation, ainsi que sur tout panneau qui permet d'y introduire une partie du corps.

6. Des signaux d'alarme sécuritaires en tout temps, clairement visibles, de couleur rouge portant la mention « Rayon X activé » qui s'illuminent lorsque l'on produit des rayons X : un indicateur devra être placé de façon évidente à l'intérieur de l'installation permanente sur une structure verticale fixe, à deux mètres au-dessus du plancher de l'installation; et au moins un indicateur à l'extérieur de l'installation permanente, près de chaque porte ou panneau qui y donne accès.

7. Des signaux d'état d'alerte clairement visibles, de couleur jaune ou ambre, portant la mention « Attention » et qui s'illuminent lorsque aucun rayonnement ionisant n'est produit : un indicateur devra être placé de façon évidente à l'intérieur de l'installation permanente sur une structure verticale fixe, à deux mètres au-dessus du plancher de l'installation; et au moins un autre indicateur à l'extérieur de l'installation permanente, près de chaque porte ou panneau qui y donne accès.

8. Un signal d'alarme audible à l'intérieur de l'installation permanente, qui (i) est distinctif et suffisamment intense pour attirer l'attention d'une personne et (ii) est déclenché au moins cinq secondes avant le début de l'émission du rayonnement ionisant.

9. Des actionneurs de couleur rouge, portant clairement la mention « Urgence » (i) fixés à l'intérieur de l'installation permanente, à une hauteur de 1 mètre du plancher, de façon à ce qu'ils puissent être actionnés sans traverser le faisceau principal; et qui, (ii) s'ils sont actionnés : (a) interrompent rapidement la production du rayonnement ionisant, (b) ouvrent automatiquement la porte principale, mentionnée à l'alinéa 3.3.1.4 du présent code de sécurité, qui est la plus proche du poste de commande et permet d'entrer dans l'installation permanente, et (c) exigent un réamorçage manuel depuis l'intérieur de l'installation permanente, avant que la production du rayonnement ionisant puisse être de nouveau commandée à partir du poste de commande.

10. Tous les voyants, commandes, signaux d'avertissement et autres indicateurs qui font partie de l'installation permanente doivent : (i) être étiquetés clairement, (ii) porter en incrustation la mention d'avertissement appropriée et (iii) être conformes au code d'éclairage et de couleur ci-dessous :

État ou condition	*Couleur*
Faisceau activé	rouge
Urgence	rouge
Attention (en attente)	ambre ou jaune
Faisceau inactif (sans danger)	vert
Information	bleu

Le texte de tout signal ou étiquette d'avertissement du danger de rayonnement requis par la présente disposition devra être en noir sur un fond jaune et être libellé en français et en anglais. Avant qu'une installation permanente nouvellement construite ou modifiée puisse entrer en service, elle devra faire l'objet d'une évaluation sur place.

3.3.2 Site de travail temporaire

L'utilisation de dispositifs de sécurité techniques sur les sites de travail temporaires est réduite. En conséquence, il est nécessaire de recourir à des mesures administratives strictes pour réduire la probabilité d'accidents dus au rayonnement et à l'exposition accidentelle. Les personnes devront donc être formées et recevoir des instructions relativement aux procédures de travail et elles devront avoir la sécurité à cœur. En autant que possible, on devrait réserver les travaux de radiographie aux moments où la zone avoisinant l'appareil est peu occupée, voire complètement désertée. Pour réduire les niveaux de dose, on devrait, en autant que possible, utiliser des collimateurs et des éléments de blindage secondaire (notamment des murs, des enceintes blindées, des véhicules sans passager et des écrans de plomb mobiles).

Voici les exigences minimales relativement aux travaux de radiographie industrielle dans un site temporaire de travail :

1. On devra délimiter une zone contrôlée pour faciliter le travail de radiographie. Elle devra être clairement indiquée par :
   (i) des panneaux contenant des avertissements écrits et des instructions de sécurité, placés stratégiquement à l'extérieur de la zone contrôlée et interdisant l'entrée aux personnes non autorisées;
   (ii) des barrières qui empêchent l'entrée dans toute zone où le débit de dose équivalent, produit par l'utilisation de l'appareil à rayons X industriel dépassera 0,1 mSv/h[14].
2. On placera des signaux appropriés (visibles d'une distance d'au moins 10 mètres) et des signaux audibles (haut-parleurs, avertisseurs sonores) pour avertir le personnel non autorisé que l'on effectue de la radiographie dans l'aire contrôlée désignée.

3. Au moins deux personnes autorisées par l'agent de radioprotection devront contrôler ou patrouiller les limites de la zone contrôlée et s'assurer qu'aucune personne non autorisée n'y pénètre, au moment où un rayonnement ionisant est émis. Une de ces personnes autorisées devra être un radiographe industriel accrédité et l'autre un agent de sécurité, ou son équivalent, qui aura lu et compris les procédures de sécurité relatives à la radiographie industrielle dans des sites de travail temporaires. L'agent de radioprotection peut aussi accomplir les fonctions de cette autre personne autorisée.

4. On devra utiliser un radiamètre étalonné et en bon état, tel que décrit à l'alinéa 2.2.1.10 du présent code de sécurité, pour s'assurer que le débit de dose équivalent à la limite de la zone contrôlée, réservée à l'usage du seul personnel autorisé, n'excède pas 0,1 mSv/h[14].

5. Avant d'émettre les rayons X, on devra suivre les protocoles de préparation au travail, notamment les procédures de repositionnement de l'objet à radiographier, de la source de rayonnement, de son boîtier, ou du récepteur d'image.

6. Un poste temporaire de commande du rayonnement, installé à l'extérieur de la zone contrôlée, permettra de déclencher l'allumage, la production et l'extinction du faisceau de rayonnement ionisant, ainsi que l'acquisition de l'image en temps réel. On s'emploiera activement à établir ce poste de commande à distance.

7. Le radiographe industriel préposé devra détenir les documents appropriés prouvant que l'appareil à rayons X portatif qu'il utilise sur le site est dûment enregistré. Lorsque l'appareil à rayons X industriel portatif est utilisé ailleurs qu'à son installation d'attache, l'agent de radioprotection de l'installation d'attache devra fournir au radiographe industriel préposé une confirmation écrite que l'appareil est dûment enregistré et qu'il possède une confirmation valide de cet enregistrement.

8. Tous les voyants, commandes, signaux d'avertissement et autres indicateurs utilisés sur un site temporaire de radiographie industrielle devront : (i) être clairement étiquetés, (ii) montrer en incrustation, le texte d'avertissement approprié et (iii) être conformes au code d'illumination et de couleur suivant :

État ou condition	*Couleur*
Faisceau activé	rouge
Urgence	rouge
Attention (en attente)	ambre ou jaune
Faisceau inactif (sans danger)	vert
Information	bleu

Tous les textes des panneaux de mise en garde et des étiquettes obligatoires mentionnés dans ce paragraphe devront être en noir sur un fond jaune et être libellés en français et en anglais.

3.4 Évaluation sur place des installations

On effectue des évaluations sur place pour vérifier que les installations sont conformes aux exigences énoncées dans le présent code de sécurité. Ces évaluations devront être effectuées par l'autorité réglementaire, ou par un autre organisme qui aura reçu l'accord préalable de l'autorité réglementaire. Ces évaluations devraient confirmer que :

(i) les installations permanentes ont été construites correctement;

(ii) les systèmes et les composants de sécurité fonctionnent comme prévu;

(iii) les panneaux de mise en garde sont appropriés et sont affichés correctement;

(iv) les procédures d'urgence sont affichées clairement au poste de commande, qu'elles sont comprises par tous les radiographes industriels, les autres utilisateurs et le personnel associé aux activités de radiographie industrielle;

(v) à l'extérieur des installations permanentes l'intensité du rayonnement résiduel est en-deçà des limites ce qui garantit que personne n'est soumis à des risques inacceptables;

(vi) les radiographes, les autres utilisateurs et le personnel associé ont été formés à l'utilisation des radiamètres et ils le font de façon compétente;

(vii) les radiographes et autres utilisateurs ont été formés à la vérification du fonctionnement correct des composantes de sécurité utilisées avec l'appareil produisant des rayonnements ionisants, à l'installation permanente ou au site temporaire de travail;

(viii) les mesures de surveillance et de suivi du personnel sont conformes aux exigences formulées aux alinéas 2.2.1.16, 2.2.1.20 à 2.2.1.24 et aux paragraphes 2.3.6 à 2.3.8 du présent code de sécurité.

On effectuera périodiquement des évaluations sur place et en n'importe quel temps.

4. Directives supplémentaires

On trouvera dans ce chapitre des informations en appui à la réglementation.

4.1 Les accélérateurs utilisés en radiographie industrielle

Les accélérateurs utilisés en radiographie industrielle produisent des photons de quelques MeV, à un débit de dose élevé. Par exemple, un accélérateur Linatron de 3 MV peut produire un débit de dose de 3 Gy par minute, à 1 mètre, à une tension de 9 MV, un appareil analogue peut générer un débit de dose de 30 Gy par minute à la même distance[16].

Les photons de haute énergie (MeV) peuvent interagir avec des noyaux atomiques, causer une réaction nucléaire menant à une libération d'énergie sous forme de photons, de particules énergétiques ou des deux. Les particules éjectées peuvent être des neutrons. On appelle ce processus d'interaction : photodésintégration. Cette réaction est possible lorsque l'énergie du photon dépasse l'énergie de liaison d'un proton ou d'un neutron du noyau atomique. Pour tout élément plus lourd que l'hydrogène, hormis le béryllium, le seuil d'énergie des photons pour de telle réaction est généralement supérieur à 5 MeV[17]. Ainsi, la production d'un neutron par des réactions de photodésintégration de photons émis par un accélérateur dont la différence de potentiel est inférieure à 6 MV serait extrêmement basse et ne constitue donc pas un danger d'irradiation[18].

4.2 Radiographie industrielle sous l'eau

Cette technique de radiographie utilise normalement des sources radioactives. Le présent code de sécurité ne s'applique pas à cette méthode, à ces pratiques et à cette source de rayonnement.

4.3 Utilisation non radiographique des appareils à rayons X industriels

On utilise parfois les appareils à rayons X industriels à des fins autres que la radiographie. Dans les installations où cela est le cas, le propriétaire de la machine à rayons X industrielle doit (a) s'assurer que les personnes qui utilisent l'appareil ont la formation, l'expérience et la compétence nécessaires et (b) établir que ces personnes ont les qualités nécessaires pour effectuer le travail prévu.

La formation en sécurité radiologique devrait être similaire à celle d'un cours en radioprotection, notamment le cours donné par l'Institut END du Canada[19] ou son équivalent. Cette formation et l'entraînement devraient comprendre : (i) les notions fondamentales de physique atomique et du rayonnement; (ii) des connaissances sur la production des rayons X et l'interaction du rayonnement ionisant avec la matière; (iii) les méthodes de détection du rayonnement et sa mesure, y compris l'utilisation des radiamètres; (iv) les connaissances fondamentales des effets biologiques des rayonnements ionisants; (v) l'utilisation des appareils de contrôle individuels; (vi) les notions fondamentales de la radioprotection : temps, distance, blindage; (vii) les principes de la CIPR et les limites de dose aux travailleurs et au public; (viii) les règles et les normes de fonctionnement en vigueur pour leur appareil à rayons X industriel; (ix) les instructions relatives au fonctionnement, aux risques de radiation et à la sécurité propres à la machine à rayons X industrielle qui sera utilisée; (x) une discussion des contrôles radiologiques appropriés et des résultats particuliers pour les machines à rayons X industrielles; (xi) et les procédures d'urgence.

L'agent de radioprotection devra identifier le groupe des utilisateurs de machine à rayons X industrielle qui effectuent du travail non radiographique et s'assurer qu'ils ont reçu la formation et ont acquis l'expérience nécessaire et qu'ils ont fait preuve de leur compétence avant d'entreprendre ce travail non radiographique. Hormis les dispositions relatives aux critères d'accréditation, les exigences formulées à l'article 2.3 du présent code de sécurité s'appliqueront à ce groupe d'utilisateurs de machine à rayons X industrielle.

4.4 Contrôles individuels

Il est nécessaire d'utiliser des dispositifs de contrôle individuels pour enregistrer et contrôler l'exposition reçue par le corps, afin de s'assurer que les limites professionnelles ne sont pas dépassées,

conformément aux recommandations de la CIPR (voir l'Annexe II du présent code de sécurité). On devra porter les dispositifs de contrôle des doses externes au-dessus des vêtements le plus près du corps possible, à la hauteur de la ceinture ou de la poitrine. **On peut se procurer des dispositifs de contrôle individuels, dernier cri, capables de mesurer et de signaler des doses aussi basses que 0,01 mSv**[12]; des appareils plus anciens sont aussi offerts[13]. Un conseil général et extrêmement important aux utilisateurs de sources de rayonnement ionisant est **d'informer le fournisseur de service de dosimétrie des sources de rayonnement qui sont utilisées ou dont l'utilisation est prévue, de tenter d'obtenir les dosimètres passifs les plus appropriés, et de s'assurer que le signalement de doses professionnelles reçues traduit correctement la contribution des diverses sources de rayonnement qui ont été utilisées**.

Les radiographes industriels et autres utilisateurs doivent porter un dosimètre passif sensible aux photons et un dosimètre avertisseur électronique qui fait une mesure instantanée du rayonnement. Les dosimètres individuels passifs ne doivent être portés que par une seule personne. On conseille de conserver ces détecteurs passifs dans un endroit sûr, bien blindé, lorsqu'ils ne sont pas utilisés afin d'éviter de mesurer une exposition de source parasite. On devra conserver les données individuelles d'exposition dans un dossier permanent qui pourra être examiné facilement à la demande du personnel de radiographie industrielle, les autres utilisateurs des appareils et le personnel de l'autorité réglementaire.

Le calcul des doses professionnelles reçues en vue de leur comparaison avec les limites de doses des travailleurs sous rayonnement recommandées par la CIPR (voir l'Annexe II du présent code de sécurité) consiste à additionner toutes les expositions au rayonnement subies par une personne de toutes les sources de rayonnement ionisant utilisées en radiographie industrielle. Les radiamètres passifs sensibles aux photons enregistrent l'ensemble des rayons X et gamma. Les contributions du rayonnement naturel et du rayonnement reçu au cours de procédures médicales ne sont pas incluses dans l'exposition professionnelle.

En plus de fournir une lecture directe de la dose, les dosimètres électroniques individuels sont conçus pour émettre un signal sonore qui informe instantanément leur porteur des conditions de rayonnement dans une zone. On peut régler l'alarme pour un débit de dose ou une dose totale. Les dosimètres électroniques à alarme doivent (i) avant leur utilisation, être vérifiés pour s'assurer de leur bon

fonctionnement; (ii) être réglés à l'avance avec une précision de ± 20 % de la dose véritable de rayonnement, à un seuil de débit de dose équivalent de 5 mSv/h ou une dose intégrée de 2 mSv[14]; (iii) avoir été étalonnés, il y a moins de 12 mois; (iv) être conçus pour que tout changement au seuil d'alarme pré-établi exige une procédure particulière. Lorsque l'alarme sonne, le porteur du dosimètre doit effectuer les opérations appropriées pour réduire le rayonnement afin de diminuer sa dose professionnelle. En présence de sources habituelles de rayons X (et de rayons gamma), ces dosimètres fonctionnement assez bien. Toutefois, les dosimètres électroniques personnels ne sont pas assez rapides pour enregistrer le rayonnement X très intense, émis pendant quelques microsecondes par certaines sources (notamment, les sources de rayons X éclairs)[20]. Cette réponse inadéquate des dosimètres peut se traduire par de fausses lectures indiquant une absence de rayons X. On devra donc utiliser d'autres dosimètres capables d'indiquer la lecture directe d'une dose, en autant que des tests aient démontré qu'ils donnaient des résultats fiables et que l'on ait informé leur porteur de toute limitation inhérente. On devra enregistrer les résultats des dosimètres à lecture directe de chaque utilisateur.

4.5 Radiamètre

4.5.1 Information relative aux systèmes à tube à rayons X et aux appareils de soudage par bombardement électronique

Pour éviter de sous-estimer le débit d'exposition produit par un appareil à rayons X industriel, le faisceau de radiation devra être plus large que l'aire de détection du radiamètre. En condition ordinaire, le radiamètre devrait donner des lectures d'une précision de ± 20 %. La réponse d'énergie devrait être plate à ± 20 %, dans la gamme d'énergie des photons que l'on désire mesurer. Les radiamètres à chambre d'ionisation doivent être calibrés pour la gamme d'énergie que l'on désire mesurer; on utilisera les facteurs de calibration pour convertir la lecture de l'instrument en valeur de dose appropriée. Les appareils qui ont différentes plages de mesure sont les plus souples. Nous suggérons d'utiliser des radiamètres ayant des maximums de plage de lecture entre 10 µSv/h à 10 mSv/h (ou leur équivalent en unité d'exposition ou de dose). Le temps de réponse de l'appareil *doit* être assez court pour permettre une mesure précise. Aucun instrument, quelles que soient les circonstances, ne doit présenter

un « retour en arrière ». Ces retours en arrière se produisent, lorsque l'instrument détecte un débit de dose (ou d'exposition) ou une dose absorbée (exposition cumulée) qui dépasse le maximum de son affichage et qu'il indique une valeur inférieure ou même une lecture de zéro. Dans le meilleur des cas, un appareil conçu pour ne pas présenter un retour en arrière devrait, s'il est exposé à un champ de radiation qui dépasse sa plage de mesure, montrer une déflexion au-delà de l'échelle dans le cas d'une aiguille ou pour un affichage numérique signaler un dépassement du maximum. Dans certains lieux de travail, un champ de radiofréquence peut être présent, dans ce cas, on devra s'assurer que le radiamètre ***n'est pas*** sensible au champ électromagnétique ambiant (en enveloppant l'appareil dans de la gaze métallique).

Plusieurs sites Web présentent des informations sur l'instrumentation utilisée en radioprotection[21].

4.6 Réaction d'urgence lors d'exposition accidentelle au rayonnement

Une exposition accidentelle au rayonnement peut résulter d'une défectuosité du matériel, d'une faute ou d'une combinaison des deux. Les victimes d'un accident radiologique doivent être vues le plus rapidement possible par un médecin. On devra, en outre, enquêter sur la cause fondamentale de l'incident et prendre des mesures correctives pour prévenir sa répétition dans l'installation.

Pour faire face à ces situations, une installation devra préparer un plan d'intervention en cas d'urgence et devra avoir les capacités pour le mettre en œuvre. On devra former le personnel dans l'utilisation de l'équipement d'urgence et à suivre les procédures écrites. On devra éprouver et valider le plan, on devra découvrir ses déficiences et les corriger. L'installation devra entretenir des liens avec les différentes catégories de personnel identifiées dans les procédures d'urgence.

À titre indicatif, un plan d'intervention d'urgence devrait comprendre les personnes suivantes :

(1) Le déclencheur de l'intervention – la personne qui déclenche l'intervention et qui sur les lieux de l'accident effectue les actions qui en atténueront les effets. Habituellement, il s'agit du préposé à la radiographie ou du premier répondant sur la scène de l'accident.

(2) Le gestionnaire de l'intervention d'urgence – la personne responsable du plan global, elle organise des priorités et s'assure

que les autres travailleurs, les travailleurs qui interviennent suite à l'urgence et le public sont protégés. Cette personne peut être un agent ou un gestionnaire de la sécurité ou un cadre de l'installation.

(3) L'évaluateur radiologique – la personne chargée des contrôles radiologiques et de l'évaluation des doses, elle offre un soutien en matière de radioprotection aux travailleurs qui réagissent à l'urgence et elle conseille les responsables de l'installation. Habituellement, cette personne est l'agent de radioprotection ou un consultant expert engagé par l'installation.

Les procédures d'intervention en cas d'urgence devraient :

(i) être concises et faciles à suivre;

(ii) décrire les situations qui indiquent qu'une intervention d'urgence est nécessaire;

(iii) préciser quels sont les actes que l'on doit poser immédiatement pour garantir une attention médicale rapide aux victimes avérées ou présumées d'un accident radiologique, il est conseillé que le médecin qui interviendra soit un radio-oncologue, sinon qu'il ait des connaissances sur les effets biologiques du rayonnement ionisant sur les humains;

(iv) préciser quelles actions devront être entreprises immédiatement pour minimiser l'exposition aux radiations des personnes se trouvant à proximité de la source de rayonnement;

(v) énumérer les noms et les numéros de téléphone de l'agent de radioprotection, du médecin ou de l'établissement médical approprié, du fabricant de l'appareil, de l'expert qualifié, des services d'urgence et de leur autorité réglementaire; on devra s'assurer que ces renseignements sont toujours à jour;

(vi) signaler l'incident à l'autorité réglementaire dans les meilleurs délais et lui fournir des renseignements précis et complets.

À la suite d'un incident, l'installation devra produire un rapport écrit qui contiendra notamment : une description de l'accident, un compte rendu des méthodes utilisées pour protéger les autres travailleurs et le public, une évaluation de l'exposition subie par les victimes de l'accident, les travailleurs, le personnel des services d'urgence et les membres du public; la cause de l'accident et les mesures correctives. Ce rapport devra être déposé (par l'agent de radioprotection) à

l'autorité réglementaire aux fins de son examen et d'un suivi, dans un délai de 5 jours civils après l'accident (voir l'alinéa 2.2.1.23 du présent code de sécurité).

4.7 Revente d'appareils à rayons X

Au moment de la revente, les appareils de rayons X usagés devront être conformes à la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* et son règlement. Le vendeur doit :

(i) s'assurer que l'article est conforme au règlement et débourser tous les coûts nécessaires pour assurer cette conformité;

(ii) aviser l'acheteur que ce dernier doit s'assurer que les exigences suivantes sont satisfaites avant d'autoriser l'utilisation de l'appareil à rayons X :

  (a) l'appareil à rayons X doit être installé par un personnel d'entretien formé et autorisé;

  (b) l'appareil à rayons X devra être examiné par un inspecteur en radioprotection autorisé par l'autorité réglementaire fédérale, Santé Canada, qui devra préparer un rapport de son inspection;

  (c) tous les opérateurs devront recevoir une formation en radioprotection particulière, adaptée à leur appareil à rayons X avant qu'ils soient autorisés à l'utiliser;

  (d) la machine à rayons X devra être conforme aux règles d'exploitation qui correspondent à celles de l'autorité réglementaire de laquelle dépend l'installation où l'appareil sera utilisé.

Si l'acheteur travaille pour une installation qui relève du gouvernement fédéral, il devra contacter l'Unité non médicale de la Division des rayons X, du Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, à Santé Canada. L'installation devra adopter le présent code de sécurité. Dans les autres cas, on devra contacter l'autorité provinciale ou territoriale en matière de radioprotection, afin de déterminer les exigences en vigueur relativement à l'utilisation de l'appareil à rayons X.

4.8 Élimination de l'appareil à rayons X

Au moment d'éliminer la machine à rayons X, l'agent de radioprotection devra suivre les instructions données par le fabricant dans le manuel de l'appareil ou contacter le fabricant pour recevoir des renseignements et des instructions. Si le fabricant a abandonné la fabrication, le commerce ou l'entretien des appareils à rayons X industriels, on devra suivre la procédure suivante :

(i) le vide du tube à rayons X doit être soigneusement brèche;

(ii) on devra examiner la fenêtre du tube à rayons X pour déterminer si elle contient du béryllium, si tel est le cas, on devra suivre une procédure d'élimination spéciale, puisque l'ingestion ou l'inhalation du béryllium est dangereuse;

(iii) on devra éliminer l'huile du transformateur, le cas échéant, conformément aux lois environnementales en vigueur;

(iv) on devra recycler le plomb, conformément aux mêmes lois.

Références

1. Commission internationale de protection radiologique. *Recommandations de 1990 de la Commission internationale de protection radiologique.* (traduction par le gouvernement français de *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3), Pergamon Press, Oxford).

2. Agence internationale de l'Énergie atomique. *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources.* Vienne, AIEA, Collection Normes de sûreté de l'AIEA, 115, 1996.

3. Agence internationale de l'Énergie atomique. *Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography.* Vienne, AIEA, Collection Normes de sûreté de l'AIEA, 13, 1999.

4. Secrétariat du Conseil du Trésor. *Sécurité et santé au travail : Directive sur les substances hasardeuses.* Texte disponible sur le site :
http://www.tbs-sct.gc.ca/pubs_pol/hrpubs/TBM_119/haz_f.asp
Consulté le 19 avril 2002.

5. Développement des ressources humaines Canada. *Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail.* Ottawa, Gazette du Canada. Lois révisées du Canada, DORS-2000-374, 2000.
Texte disponible sur le site :
http://lois.justice.gc.ca/fr/L-2/DORS-86-304/index.html
Consulté le 26 février 2002.

6. Liste de personnes ressources. *Informations sur la radioprotection et la sécurité.* Texte disponible sur le site :
http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/brp/crfpt_membres.htm
Consulté le 23 avril 2002.

7. Maharaj, H. P. « Radiation output and beam quality measurements of industrial x-ray tubes ». *CSNDT Journal*, 19, 36-41, 1998.

8. Informations sur les risques pour la santé des préposés au soudage par bombardement électronique. Texte disponible sur le site :
http://hps.org/publicinformation/atc/q143.html

9. Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. *Loi sur les dispositifs émettant des radiations*. Chapitre 34 (1er supplément) Lois révisées du Canada. Ottawa. Gazette du Canada, 1984. Texte disponible sur le site :
http://www.canlii.org/ca/regl/crc1370/
Consulté le 10 mars 2003.

10. Office des normes générales du Canada. *Qualification et certification du personnel affecté aux essais non destructifs* (ISO 9712 : 1999, MOD), Office des normes générales du Canada, Normes nationales du Canada, CAN/CGSB – 48.9712-2000, 2000.

11. Office des normes générales du Canada. *Certificat en essais non destructifs (Méthodes de radiographie policière et pour la sécurité)*. Office des normes générales du Canada, Normes nationales du Canada, CAN/CGSB – 48.20-94, Ottawa, 1994.

12. Site Internet du service de dosimétrie de la société Landauer :
http://www.landauerinc.com
Consulté le 15 avril 2002.

13. Sites Internet donnant des information sur des scrivces de dosimétrie :
http://www.dosimetry.com
http://www.hc-sc.gc.ca
Consultés le 15 avril 2002.

14. Commission canadienne de sûreté nucléaire. *Règlement sur les substances nucléaires et les appareils à rayonnement*, DORS-2000-207. 2000. Texte disponible sur le site :
http://lois.justice.gc.ca/fr/N-28.3/DORS-2000-207/index.html
Consulté le 2 juillet 2001.

15. National Council on Radiation Protection and Measurements. *Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X rays and Gamma rays of Energies Up to 10 MeV*. Bethesda, Maryland, (États-Unis), NCRP Report 49, 1976.

16. Varian Medical Systems. *Industrial Products: Field Portable X-ray Systems*. 2001. Available at :
http://varian.com/ind/lmn000a.html
Consulté le 26 juillet 2001.

17. Choppin, G. R. et J. Rydberg. *Nuclear Chemistry*. Pergamon Press, Toronto, 1980.

18. National Council on Radiation Protection and Measurements. *Neutron Contamination from Medical Accelerators*. Bethesda, Maryland (États-Unis), NCRP Report 79, 1984.

19. Site Internet donnant des informations sur le cours en radioprotection :
http://www.ndeinst.org/courses/rad_safety.shtml
Consulté le 17 décembre 2002.

20. Physics International Company. *Selection Guide for Flash X-ray Systems*. Technical Bulletin 5952-6701, San Leandro, Californie (États-Unis), 1995. Disponible auprès de : Olin Corporation Aerospace Division, 2700 Merced Street, San Leandro, Ca 94577-0599, États-Unis.

21. Sites Internet donnant des informations en anglais sur les appareils utilisés en radioprotection :
http://www.inovision.com
http://www.eberline.com
http://www.ludlums.com
http://www.thermo.com
http://www.cardinal.com
Consulté le 27 février 2002.

Glossaire

Les définitions suivantes sont utilisées dans le présent code de sécurité.

À sécurité intégrée – Se dit d'un dispositif conçu de façon à ce qu'une défaillance entraîne une ou des actions qui se traduisent par une situation sécuritaire.

Accident – Un événement qui peut résulter ou qui résulte en l'irradiation imprévue ou accidentelle d'une personne.

ADN – Acide désoxyribonucléique. Substance où est inscrite l'information génétique des cellules.

Agent de radioprotection – Personne responsable de l'ensemble du programme de radioprotection, au nom du propriétaire de l'appareil à rayons X industriel et qui agit conformément aux dispositions de l'article 2.2 du présent code de sécurité. (Une personne qui satisfait aux exigences de la Commission canadienne de sûreté nucléaire sera reconnue comme agent de radioprotection aux fins du présent code de sécurité.)

AIEA – Agence internationale de l'énergie atomique. Organisme des Nations Unies formé en 1954, chargé de créer et de faire appliquer les garanties internationales visant l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. Elle a publié des normes de radioprotection acceptées internationalement, en s'inspirant des recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

ALARA – Acronyme de *As low as reasonably achievable* : le niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre. On utilise ce principe dans la conception de sources de rayonnement, lors de leur utilisation dans les pratiques associées, pour maintenir l'exposition au rayonnement au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, en tenant compte des facteurs sociaux et économiques.

Appareil à rayons X industriel – Appareil à rayons X utilisé en radiographie industrielle ou appareil de soudure par bombardement électronique utilisé pour fondre et lier des matériaux.

Atome – Constituant fondamental de la matière. Il s'agit de la plus petite portion d'un élément doté de propriétés chimiques caractéristiques. Il est formé d'un noyau autour duquel des électrons sont en orbite.

Autorité réglementaire – Une autorité désignée ou autrement reconnue par un gouvernement aux fins de la réglementation relative à la protection et la sécurité.

Autre utilisateur – Une personne âgée de 18 ans ou plus qui utilise un appareil à rayons X industriel pour accomplir un travail autre que la radiographie industrielle ou la fusion de métaux (fusion et soudage).

Blindage – Matériel utilisé pour protéger des personnes, des êtres vivants ou des objets des rayonnements ionisants.

Cancer – Terme général pour désigner tous les types de néoplasmes malins.

Champ de rayonnement élevé – Indication qualitative du débit de dose équivalent dans certaines zones, notamment celles où les débits de dose équivalents dépassent 1 mSv/h.

Cible – Partie d'un tube à rayons : surface de matière qui produit un rayon X, à la suite d'un bombardement par un faisceau de particules accélérées.

CIPR – Commission internationale de protection radiologique. Groupe d'experts indépendants issu d'un vaste éventail de disciplines scientifiques qui, depuis plus de 50 ans, a publié des recommandations en matière de protection des travailleurs sous rayonnement et du public, des effets de rayonnement ionisant.

Collimateur – Écran placé sur la trajectoire d'un faisceau primaire pour limiter l'aire de sa section.

Congénital – Se dit d'un trait existant au moment de la naissance ou acquis pendant le développement intra-utérin et qui n'est pas dû à l'hérédité.

Conseiller en radioprotection – Personne ayant les connaissances spécialisées, ayant reçu une formation spécialisée et ayant acquis de l'expérience nécessaire pour donner des conseils ou des directives relativement à la radioprotection, de façon compétente et professionnelle.

Dispositif de verrouillage – Dispositif qui prévient l'exposition d'une personne au rayonnement en interdisant l'entrée dans une zone dangereuse ou encore en faisant disparaître ce danger.

Dose – Le quotient, exprimé en gray, de l'énergie absorbée par l'exposition à un rayonnement ionisant et la masse du corps ou de la partie du corps qui a absorbé le rayonnement, 1 Gray (Gy) = 100 rad.

Dose efficace – Somme des produits obtenus par la multiplication des doses équivalentes d'un rayonnement reçus par chaque tissu ou organe énuméré au Tableau 3 de l'Annexe II par le facteur de pondération correspondant, lequel apparaît à la deuxième colonne du même tableau. On mesure la dose efficace en sievert (Sv).

Dose équivalente – Le produit de la dose fois le facteur de pondération du rayonnement. Elle se mesure en sieverts. En 1990, la CIRP a proposé l'utilisation du terme « dose équivalente » pour remplacer « équivalent de dose ». (1 sievert (Sv) = 100 rem)

Effet déterministe – Effet biologique nocif pour lequel un seuil est normalement associé. La gravité de cet effet augmente avec la dose. On ne peut détecter médicalement l'effet en-deçà de la dose seuil.

Effets stochastiques – Effet biologique nuisible dont la probabilité de manifestation augmente avec la dose, mais dont la sévérité n'est pas fonction de l'importance de la dose absorbée. Il n'y a pas de seuil de dose pour les effets stochastiques.

Embryon – Un organisme humain en développement, du moment de sa conception à la fin de la sixième semaine de gestation.

Enceinte blindée – Espace fermé contenant une source de rayonnement et qui a été équipé de dispositifs de sécurité assurant un blindage et une protection suffisants des sources de rayonnement.

Énergie de liaison – Expression générale désignant l'énergie minimale nécessaire pour retirer un proton ou un neutron d'un atome.

Équipement de rayons X en cabinet – Un système à rayons X composé d'un tube à rayons X et de son générateur, d'un détecteur et d'un volume permettant l'examen d'objets, dans une enceinte, qui est indépendant des structures architecturales d'un immeuble, hormis le plancher sur lequel il peut être placé, et qui assure l'atténuation du rayonnement, en plus d'exclure le personnel pendant la production du rayonnement ionisant.

Équivalent de dose – Le produit de la multiplication de la dose par le facteur de pondération des rayonnements. Ce facteur est égal à 1 pour les rayons X et gamma. Les équivalents de dose sont mesurés en rem. Dans les tissus mous, 1 rem ~ 1 rad. En 1990, la CIPR a proposé l'utilisation du terme « dose équivalente » pour remplacer « équivalent de dose ».

Gray – Unité de dose dans le système international (SI), 1 gray (Gy) = 100 rad.

Installation permanente – Enceinte blindée, fixée dans un lieu.

Installation – Site où l'on effectue de la radiographie industrielle.

Ion – Atome ou groupe d'atomes dont la charge totale est positive, ou négative à la suite de la perte ou du gain d'un ou de plusieurs électrons.

Isotope radioactif – Élément qui émet un rayonnement ionisant lors de sa désintégration.

Isotopes – Atomes d'un même élément qui diffèrent par leur nombre de masse. Le nombre de masse est égal à la somme du nombre de protons et de neutrons qui constituent le noyau de l'atome.

Leucémie – Maladie humaine caractérisée par l'augmentation excessive du nombre de globules blancs dans les tissus ou le sang.

Limite de dose – Cette expression désigne la limite de dose efficace ou de dose équivalente, selon le cas. Les différentes limites de dose sont énumérées à l'Annexe II.

Machine à souder par bombardement électronique – Appareil produisant des faisceaux d'électrons très intenses et concentrés permettant de fondre et d'unir des matériaux placés dans le vide.

Malin – Qui résiste au traitement et se manifeste sous une forme grave, qui tend fréquemment à une issue fatale.

MeV – Million d'électrons-volts ou mégaélectrons volts. Énergie cinétique acquise par un électron accéléré par une différence de potentiel égale à un million de volts.

Muon – Particule dont la masse est d'environ un dixième de celle du proton ou environ 200 fois celle de l'électron.

MV – Mégavolts. Unité de la mesure de la différence de potentiel servant à accélérer les particules.

Neutron – Une des trois particules fondamentales, composant de tous les atomes dont le nombre atomique est supérieur à l'hydrogène. Existant dans le noyau des atomes, les neutrons n'ont pas de charge électrique, mais ont une masse approximativement équivalente à celle du proton.

Nucléide – Expression générale utilisée pour décrire une famille d'isotopes.

Particule alpha – Un noyau d'hélium constitué de deux neutrons et de deux protons. Une feuille de papier épaisse de quelques microns peut arrêter une particule alpha. Ces particules produisent beaucoup plus d'ions qu'un rayon X ou gamma ou qu'un électron et, donc, peuvent provoquer des dommages beaucoup plus graves aux cellules.

Personnel d'entretien – Personne ayant reçu une formation spécialisée, autorisée à entretenir un appareil à rayons X industriel par son fabricant ou ses agents.

Personnel associé – Personnel associé à la sécurité ou à d'autres fonctions, à proximité des zones de travail radiographique, dans une installation.

Photon – Une quantité discrète d'énergie sous forme d'une onde électromagnétique, notamment un rayon X ou gamma, elle est égale au produit de la constante de planck ($6{,}61 \times 10^{-34}$ J s) et de la fréquence du rayonnement (en hertz).

Professionnel, professionnelle – Terme qualifiant l'ensemble du rayonnement ionisant reçu par une personne en cours d'emploi, en vertu de l'exécution de ses tâches normales, dans son lieu de travail.

Propriétaire d'un appareil à rayons X industriel – Toute personne, organisation ou établissement détenant la propriété ou le contrôle administratif d'une ou de plusieurs installations permanentes, ou de sources de rayonnement utilisées aux fins de radiographie industrielle.

Propriétaire d'un appareil émettant un rayonnement – Toute personne, toute organisation ou tout établissement qui possède une ou plusieurs installations comportant une ou plusieurs sources de rayonnement ionisant, ou qui en a le contrôle administratif.

Proton – Une des trois particules fondamentales de l'atome. Les protons ont une charge électrique positive, se trouvent dans les noyaux des atomes et possèdent une masse approximativement égale à celle d'un neutron.

Rad – Unité de dose absorbée. Un rad correspond à l'absorption de 100 erg d'énergie par gramme de matière, 1 rad = 1 centigray.

Radiamètre – Instrument portatif permettant de mesurer l'exposition ou la dose et le débit de dose équivalent.

Radio-exposition – Action de soumettre un organisme vivant ou une substance à un rayonnement X ou d'électrons. Synonymes : irradiation, exposition au rayonnement.

Radioactivité – Libération d'énergie sous la forme de particules ou de rayons gamma, provoquée par la désintégration du noyau d'un atome.

Radiographe industriel – Personne ayant reçu l'instruction et la formation nécessaires pour utiliser un appareil émettant des rayonnements, aux fins de radiographie industrielle. Sont inclus dans cette définition, les radiographes industriels accrédités.

Radiographe industriel accrédité – Radiographe industriel dont les compétences satisfont aux normes nationales canadiennes ou leur équivalent; les normes émises par l'Office des normes générales du Canada constituent des normes nationales. Aux fins du présent code de sécurité, une personne accréditée comme opérateur d'un appareil à rayonnement, conformément aux règlements de la Commission canadienne de sûreté nucléaire sera considérée être un radiographe industriel accrédité.

Radiographie – Utilisation du rayonnement ionisant pour produire les images radiographiques sur une pellicule, une substance fluorescente ou un dispositif d'affichage d'image.

Radiographie industrielle – Examen non destructif de la structure des matériaux, consistant à produire des images radiographiques à l'aide d'un rayonnement ionisant.

Radionucléide – Se dit de tous les isotopes d'un atome qui sont radioactifs.

Rayonnement de fuite – Rayonnement issu d'une source de rayonnement ionisant, autre que le faisceau utile.

Rayonnement électromagnétique – Rayonnement caractérisé par l'oscillation d'un champ électrique et d'un champ magnétique pouvant se déplacer à travers un milieu. Dans le vide, le rayonnement électromagnétique se déplace à la vitesse de la lumière. Les rayons gamma et X sont des formes de rayonnement électromagnétique.

Rayons gamma – Rayonnement électromagnétique de très haute énergie et de courte longueur d'onde, produit par la décroissance radioactive d'un atome instable.

Rayonnement naturel – Rayonnement produit par les sources naturelles, présentes dans l'environnement : le soleil et les rayons cosmiques, les éléments radioactifs naturels présents dans l'atmosphère, le sol, les matériaux de construction et le corps humain lui-même. L'intensité et la nature du rayonnement naturel varient d'un endroit à l'autre. Un nord-américain reçoit annuellement, en moyenne une dose de rayonnement d'environ 2,4 mSv (240 mrem).

Rayonnement ionisant – Rayonnement contenant assez d'énergie pour éjecter un électron d'un atome. Les rayons X et gamma, les particules alpha, les neutrons, les protons et les électrons sont tous des rayonnements ionisants.

Rayonnement principal – Rayonnement émis par une source ou une [illegible] et qui sort du dispositif d'émission par un collimateur ou un autre dispositif formeur de faisceau. Synonymes : faisceau primaire ou principal.

Rayonnement résiduel – Somme des rayonnements secondaires et de fuite.

Rayonnement secondaire – Rayonnement ionisant émis par de la matière, à la suite de son interaction avec un faisceau primaire.

Rayonnement X – Un faisceau de rayons X.

Rayons X – Rayonnement électromagnétique contenant beaucoup plus d'énergie que la lumière visible.

Roentgen ou röntgen – Unité d'exposition aux rayons X ou gamma dont les énergies sont inférieures à 3 MeV, 1 roentgen = $2{,}58 \times 10^{-4}$ coulomb, par kilogramme d'air.

S'assurer – Contrôler ou confirmer un fait pour en acquérir une certitude, garantir.

Sievert – Unité de dose équivalente, 1 sievert (Sv) = 100 rem.

Source de rayonnement – Une source scellée de rayons gamma ou une autre source émettant un rayonnement ionisant.

Source de rayons X éclairs – Appareil pouvant émettre un faisceau très intense de rayons X pendant quelques microsecondes ou moins. On utilise de telles sources dans l'étude des événements dynamiques associés aux projectiles, aux explosions, aux implosions et aux détonations.

Vendre – Offrir en vente ou faire de la publicité d'un produit dans le but de réaliser la vente, l'expédition ou la distribution d'un produit à vendre ou à louer.

Zone contrôlée – Une zone définie dans laquelle on effectue de la radiographie industrielle et dans laquelle les niveaux de dose accumulés dépasseront probablement 0,3 mSv pendant une période d'une semaine. Cette zone devrait être soumise à la surveillance d'un agent de radioprotection.

Zone surveillée – Toute zone qui n'est pas une zone contrôlée, mais où il faut surveiller les conditions d'exposition professionelle au rayonnement.

Annexe I
Mise en garde contre les rayons X

Le présent code de sécurité fait référence à un symbole de mise en garde contre les rayons X dont les principaux éléments sont :

a. un texte en noir sur un fond jaune;

b. il devra être d'une taille appropriée à la taille de l'appareil ou de la zone, de la porte, du mur, de l'installation ou de tout autre objet sur lequel il sera apposé;

c. il portera les mots « ATTENTION, RAYONS X : UTILISATION NON AUTORISÉE » et « CAUTION, X-RAYS : NO UNAUTHORIZED USE »;

d. comportera le diagramme suivant :

Annexe II
Limites recommandées de dose de rayonnement ionisant

En 1990, la Commission internationale de protection radiologique formulait dans sa Publication 60[1], ses recommandations relativement aux limites de dose de rayonnement ionisant. Ces limites de dose ne comprennent pas le rayonnement naturel ou celui reçu à des fins médicales.

Tableau 1. Limites de dose efficace

Personne	Période	Effective Dose (mSv)
Travailleur sous rayonnement	(a) Un an	(a) 20 (moyenne) 50 (circonstances spéciales)
	(b) 5 ans	(b) 100
Travailleuse sous rayonnement enceinte§	Le reste de la grossesse	2
Membre du public	Un an	1

§ Le fœtus d'une travailleuse sous rayonnement enceinte doit être protégé de l'exposition au rayonnement pour le reste de la grossesse, une fois que la grossesse a été constatée.

Tableau 2. Limites de dose équivalente

Tissu ou organe	Personne	Période	Does equivalente (mSv)
La peau	(a) Travailleur sous rayonnement	Un an	500
	(b) Membre du public	Un an	50
Lentille de l'œil	(a) Travailleur sous rayonnement	Un an	150
	(b) Membre du public	Un an	15
Mains et pieds	(a) Travailleur sous rayonnement	Un an	500
	(b) Membre du public	Un an	50

Tableau 3. Facteurs de pondération pour les organes ou les tissus

Organes ou Tissus	Facteur de pondération, w_T
Les gonades (testicules ou ovaires)	0,2
Moelle osseuse rouge	0,12
Le côlon	0,12
Les poumons	0,12
L'estomac	0,12
La vessie	0,05
Les seins	0,05
Le foie	0,05
L'œsophage	0,05
La glande thyroïde	0,05
La peau	0,01
La surface des os	0,01
Le reste des organes, c'est-à-dire tous les organes ou tissus hormis les douze énumérés ci-dessus, notamment : les glandes adrénalines, le cerveau, la partie haute du gros intestin, l'intestin grêle, les reins, les muscles, le pancréas, la rate, le thymus et l'utérus¶	0,05
Le corps en entier	1

¶ Dans les cas exceptionnels où l'un de ces autres organes recevrait une dose équivalente excédant la dose équivalente reçue par n'importe lequel des douze organes énumérés, on appliquera un facteur de pondération de 0,025 à cet organe ou ce tissu et un facteur de pondération de 0,025 à la dose équivalente moyenne reçue par l'autre organe ou le tissu.

Tableau 4. Facteur de pondération du rayonnement

Type de rayonnement et énergie	Facteur de pondération du rayonnement, w_R
Photons, toutes énergies	1
Électrons et muons, toutes énergies[§]	1
Neutrons de moins de 10 keV	5
Neutrons entre 10 keV et 100 keV	10
Neutrons de plus de 100 keV, jusqu'à 2 MeV	20
Neutrons de plus de 2 MeV, jusqu'à 20 MeV	10
Neutrons de plus de 20 MeV	5
Protons, autres que les protons de recul, de plus de 2 MeV	5
Particules alpha, fragments de fission, noyaux lourds	20

§ On trouvera au tableau S-1 de la Publication 60 de la CIPR[1] des notes spécifiques sur les types de rayonnement et leur énergie.